

УДК 669.791'295:539.25

**Ю. В. Хлебникова*, Д. П. Родионов, Т. Р. Суаридзе,
Л. Ю. Егорова, Ю. Н. Акшенцев**

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург

*Yulia_kh@imp.uran.ru

СТРУКТУРА α -ФАЗЫ ГАФНИЯ И СПЛАВОВ ГАФНИЙ-ТИТАН

Методами металлографии и EBSD-анализа изучена структура выращенного методом «плавающей зоны» гафния и сплавов $\text{Hf}_{55}\text{Ti}_{45}$ и $\text{Hf}_{30}\text{Ti}_{70}$, сформировавшаяся в разных кинетических условиях реализации полиморфного превращения. Структура α -фазы литого гафния состоит из реек, сгруппированных в пакеты. Независимо от скорости охлаждения сплавов Hf-Ti в пределах зерна реализуется одинаковый набор ориентировок α -фазы.

Ключевые слова: сплавы гафний-титан, полиморфное превращение, скорость охлаждения, мартенсит, ориентационные соотношения Бюргерса, пакет, EBSD-анализ.

**Yu. V. Khlebnikova, D. P. Rodionov, T. R. Suaridze,
L. Yu. Egorova, Yu. N. Akshentsev**

THE STRUCTURE OF ALPHA-PHASE OF HAFNIUM AND HAFNIUM-TITANIUM ALLOYS

The structure of hafnium and $\text{Hf}_{55}\text{Ti}_{45}$ and $\text{Hf}_{30}\text{Ti}_{70}$ alloys formed under different kinetic conditions of polymorphic transformation was studied by metallography and EBSD analysis. The structure of the α -phase of cast hafnium and of the Hf-Ti alloys consists of packet martensite. Irrespective of the cooling rate upon transformation, within the initial grain, the same set of orientations of the α -phase occurs.

Key words: hafnium-titanium alloys, polymorphic transformation, cooling rate, martensite, Burgers orientation relationships, packet, EBSD analysis.

Металлический гафний применяется в основном для изготовления стержней ядерных реакторов и в качестве боксов для хра-

нения радиоактивных материалов. Учитывая особенности основного применения гафния, работы по исследованию механических свойств, структуры и текстуры гафния являются актуальными [1]. Сплавы титана, легированные гафнием, имеют более широкий спектр применения, чем чистый гафний. Они применяются в судостроении при производстве деталей судовых двигателей. По антикоррозионной стойкости гафний превосходит титан, поэтому гафний добавляют в титановые сплавы, из которых изготавливают детали реактивных двигателей. Гафний химически и структурно близок к титану и имеет с ним неограниченную растворимость.

Исследованный кристалл литого гафния и сплавы $\text{Hf}_{55}\text{Ti}_{45}$ и $\text{Hf}_{30}\text{Ti}_{70}$ выше температуры полиморфного превращения представляли собой крупнозернистые поликристаллы. При полиморфном превращении в каждом β -зерне гафния или сплава Hf-Ti происходит зарождение α -фазы нескольких ориентаций из 12 возможных в соответствии с ориентационными соотношениями Бюргерса. Образование любой из 12 ориентировок α -фазы является равновероятным.

Структура гафния при комнатной температуре состоит из рейкообразных кристаллов α -фазы, сгруппированных в пакеты. В пределах пакета разориентировка между отдельными рейками составляет менее 1° . Полученные результаты хорошо согласуются с данными о строении псевдомонокристалла иодидного титана, изученного ранее [2].

Показано, что в литых сплавах Hf-Ti полиморфное ($\beta \rightarrow \alpha$)-превращение осуществляется по диффузионному механизму, что приводит к формированию структуры из смеси кристаллов α -фазы разной морфологии. Закалка сплавов Hf-Ti приводит к реализации мартенситного механизма $\beta \rightarrow \alpha$ полиморфного превращения. В сплаве $\text{Hf}_{55}\text{Ti}_{45}$ формирование пакетов, состоящих из реечных кристаллов α -фазы, в явном виде происходит не во всем объеме образца. В сплаве с большим содержанием титана доля участков структуры с пакетной морфологией кристаллов становится преобладающей. В отличие от чистых гафния и титана, в мартенситном пакете закаленных сплавов Hf-Ti содержатся рейки разных ориентаций, чередующиеся неупорядоченно.

Установлено, что набор ориентировок α -фазы, реализующихся в пределах зерна исходной β -фазы, не зависит от скорости охлаждения сплава в интервале температур $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения. Разориентировка элементов субструктуры в пределах отдельного кристалла α -фазы

для обоих сплавов Hf–Ti составляет около 5,0° в литом состоянии и не превышает 2,2° после закалки.

*Работа выполнена в рамках государственного задания
по темам «Структура» (№ АААА-А18–118020190116–6)
и «Давление» (№ АААА-А18–118020190104–3).*

Литература

1. Исследование микроструктуры, текстуры и механических свойств прокатанного гафния / Р. В. Ажажа [и др.] // ВАНТ. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. 2009. № 6. С. 25–31.
2. Features of forming structure of titanium pseudosingle crystal during $\beta \rightarrow \alpha$ (bcc \rightarrow hcp) polymorphic transformation / Yu. V. Khlebnikova [et. al.] // Phys. Met. Metallogr. 2013. V. 114. P. 752–763.